

太陽光発電の普及に向けた新たな電力買取制度の分析

2009 年 11 月

文部科学省科学技術政策研究所
第 1 研究グループ

大橋 弘 明城 聡

この DISCUSSION PAPER は、所内での討論に用いるとともに、関係の方々からのご意見を頂くことを目的に作成したものである。また、この DISCUSSION PAPER の内容は、執筆者の見解に基づいてまとめられたものであることに留意されたい。

太陽光発電の普及に向けた新たな電力買取制度の分析

2009 年 11 月

大橋 弘 文部科学省科学技術政策研究所 第 1 研究グループ客員総括主任研究官
東京大学大学院経済学研究科 准教授
明城 聡 文部科学省科学技術政策研究所 第 1 研究グループ研究員

〒100-0005 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館東館 16 階
Email: lresgr@nistep.go.jp TEL: 03-3581-2396 FAX: 03-3503-3996

太陽光発電の普及に向けた新たな電力買取制度の分析¹

大橋 弘²

明城 聡³

2009 年 11 月

概要

本論文では2009年11月に導入された住宅用太陽光発電の余剰電力買取制度の効果を定量的に分析する。1997-2007 年において都道府県レベルの需要関数および太陽光メーカーの費用関数からなる構造モデルを推定した上で、想定されるいくつかのシナリオのもとでの住宅用太陽光発電が2030年までにいかなる普及過程を辿るかについてシミュレーション分析を行った。48円/kWhから開始する余剰電力買取価格が、住宅用太陽光発電の生産に伴う限界費用とともに5年間で半減し、且つ送配電系統における制約がないのであれば、住宅用太陽光発電の累積導入量は2020年までに2,800万kW(2005年比の20倍)、2030年までに5,300万kW(2005年比の40倍)に達することが明らかとなった。ただし、生産コストが現状から全く下がらなければ、たとえ余剰電力買取価格を48円/kWhで10年間継続したとしても、2020年までの累積導入量は1,300万kWにとどまることも分かった。太陽光発電の限界費用が5年で半減するのであれば、CO2排出量削減の経済価値を加味すると、余剰買取制度は社会余剰の観点から正当化されることも明らかになった。

本論文ではさらに太陽光発電の全量買取制度についても分析を行った。住宅用太陽光発電の限界生産費用が5年間で半減し、かつ全量買取価格が10年間で48円/kWh均一であるならば、2020年までに7,900万kW(2005年比で55倍)以上の累積導入量が見込めることが分かった。しかしながら、電力買取費用の総額は余剰買取のケースと比較して大幅に増加するために、シナリオによっては、全量買取制度が社会余剰の観点から正当化されない場合がありうることが分かった。

なお、本論文で分析された2030年までの住宅用太陽光発電の普及シナリオは、送配電網における系統安定化に対する影響を考慮していない。本論文の定量分析と合わせて、電力系統の観点からも太陽光の大量導入に対する対応策を検討する必要性があることも指摘された。

Keyword: 太陽光発電, 余剰電力買取, 全量買取制度, 社会余剰

JEL: D24, D62, H23, Q51

¹ 本論文の執筆にあたり、日本エネルギー研究所におけるセミナー参加者、また近藤章夫(法政大学)、中村豪(東京経済大学)、齋藤経史(科学技術政策研究所)、西川浩平氏(科学技術政策研究所)から多くの有益なコメントを得た。

² 東京大学経済学研究科

³ 科学技術政策研究所

1 序論

世界各国が地球温暖化への危機感を強めていくなかで、日本国内でもCO₂ 排出量を 1990 年比で 25%削減することが政府目標に掲げられた。⁴ この目標に向けてエコカーの普及、省エネ住宅の促進、そして再生可能エネルギー利用の拡大等、政府主導によって環境政策を策定する動きが活発化するものと見込まれる。そうした政策のひとつとして、2009 年 11 月から新たな余剰電力の買取制度が発足した。この買取制度は、既設及び新規に住宅に導入される太陽光発電の余剰電力を現状の最大 2 倍程度の固定価格で電力会社が一定期間買取をすることを保証するものである。これによって太陽光発電の将来価値が高まり、導入にかかるコストをより短期間で回収できるようになるため、一般家庭の太陽光発電の導入インセンティブが高まることが期待される。

本論文の目的は、太陽光発電の普及に向けた電力の買取制度が与える影響を 2030 年までの期間について定量的に分析することである。1997-2007 年までの市場データから推定された構造型モデルを利用し、想定される今後の買取価格と生産費用に関するさまざまなシナリオのもとで買取制度が太陽光発電の普及およびその影響をシミュレーションする。ここでは、2つの買い取り制度について取り上げる。まず第 1 に 2009 年 11 月より始まった余剰電力買取制度である。これは国民負担をなるべく抑えるために発電電力の余剰に注目した日本独特の制度である。だが、ドイツやスペインなどで行われているような全量買取制度と比べて、余剰買取制度は太陽光発電システムのインセンティブが低いことも否めない。そこで、本論文では、もし仮に日本で住宅用太陽光発電の全量買取を実施したならば、太陽光発電システムがどれだけ普及するのかを、第 2 の買取制度として評価分析対象とする。

本分析のフレームワークは以下の手順である。まず太陽光発電システムの導入コストから、補助金による控除と将来の太陽光発電の経済価値を差引いた太陽光発電システムの実質的な価格（以下では、オーナーシップ・コストとよぶ）を算出する。そして都道府県レベルでの導入量とオーナーシップ・コストのパネルデータを利用して住宅向け太陽光発電システムの需要関数を推定する。一方、太陽電池の生産サイドについては、太陽電池市場が少数の生産メーカーによる寡占市場であることを踏まえた数量競争モデルを仮定することにより、太陽電池生産の限界費用を求めるとともに太陽電池メーカーの費用関数を推定する。費用関数の推定には各メーカーの生産キャパシティ、技術水準、生産の習熟度、および要素価格を用いる。新たな買取制度のシミュレーションでは、推定された構造モデルを利用して普及の経路をシミュレーションすることになる。

本論文の分析で得られた主な結果は以下である。余剰電力の買取制度については、買取価格が、生産費用とともに 5 年で半減するのであれば、太陽光発電システムの普及は、2020 年には 2,800 万 kW (2005 年比で 20 倍)、2030 年には 5,300 万 kW (2005 年比の 40 倍)を超えることが分かった。但し、生産費用の下落が現状のペースで進むとすれば、累積導入量は 2020 年には 1,590 万 kW と大きく落ち込んでしまうことも明らかになった。いずれにしても、余剰電力の買取制度は社会余剰(すなわち消費者余剰、生産者余剰、CO₂ 削減効果の経済価値から余剰電力の買取費用を差し引いたもの)の観点からは意味のある補助金制度であることが明らかとなった。電力

⁴ 鳩山首相の 2009 年 9 月における国連気候変動首脳会合での発言。

買取の範囲を余剰から全量へと拡張した場合には、太陽光発電の普及を更に進められることが分かった。この場合、2020 年までの累積導入量は最も普及が進むケースで 1 億 1000 万 kW に達すると推定された。ただし、電力買取にかかる費用は余剰買取の場合の 3 倍から 4 倍に増加することが見込まれるため、全量買取における社会余剰は余剰買取よりも小さいことが明らかとなった。

次章以降の本論文の構成は以下である。2 章では、太陽光発電産業の現状と新たな電力買取制度について述べる。3 章では、太陽光発電のオーナーシップ・コストと分析に利用する住宅用太陽光発電システムの需要・供給に関する構造方程式モデルを説明する。続く 4 章では、推定で用いるデータについて説明し、5 章では推定結果について述べる。6 章では余剰電力買取制度のもとでの太陽光発電の普及についてのシミュレーションを行う。更に 7 章では、買取制度の対象を余剰電力でなく発電全量とした場合の太陽光発電の普及について議論する。そして、8 章では本論文で得られた結果を総括するとともに分析の限界や残された課題について考察する。

2 太陽光発電の新たな余剰電力買取制度

わが国における住宅用太陽光発電の累積導入量は、2007 年までに設備ベースで 150 万 kW にのぼっている（図 1 参照）。これだけの太陽光発電がわが国において普及した背景には、太陽光発電システムの導入費用の低下によるところが大きいだろう。太陽電池モジュールと周辺機器（パワーコンディショナ、接続箱等）、そして施工費用を含めた住宅用太陽光発電のシステム価格は 1997 年に設備容量 1kW 当たり 270 万円であったが 2007 年には 68 万円まで低下している。また住宅用太陽光発電には 1994 年から 2005 年までの 13 年間に総額 1,340 億円の公的な補助金が支出され、延べ 25 万 4 千件、設備容量にして 932MW が新規導入された。⁵ 2005 年度にいったん終了した同補助金制度であるが、2008 年度には 1kW あたり 7 万円の給付額にて再開されている。さらに太陽光発電の普及拡大の柱として期待されているのが 2009 年 11 月より導入された太陽光発電の買取制度である。

この買取制度は、既設および今後新規に設置される住宅用太陽光発電について、一般家庭の余剰電力を従来の買取価格の最大 2 倍（48 円/kWh）で 10 年間電力会社に売電できるとするものである。⁶ これにより一般家庭は太陽光発電の導入コストがより短期間で回収でき、太陽光発電の導入インセンティブが高まることが期待されている。図 2 にモデルケースでの 2007 年における太陽光発電の導入コストを示した。⁷ これによると、システムを導入する費用約 185 万円の内、補助金や減税が 43 万円、グリーン電力価値及び自治体による補助が 20 万円、10 年間の電気料金節約額が 35 万円、10 年間の余剰電力の売電収入が約 50 万円、であり差額の約 37 万円が家庭のネットでの負担額と考えられている。新たな買取制度は余剰電力の売電収入を高め、太陽光発電の導入による実質的な負担をなくすことで太陽光発電の普及を目指すものである。現時点では、既設および 2010 年に新規導入される太陽光発電については買取価格を 48 円/kWh とし、それ以降の年

⁵ この補助金制度が普及の与えた影響や費用対効果については、明城・大橋(2009)で詳細な分析を行っている。

⁶ 非住宅用となる事業者からの余剰電力買取については 24 円/kWh となる。

⁷ 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会・電気事業分科会買取制度小委員会資料

度については年ごとに買取価格を見直した上で、5年後をめどに買取価格を過去の水準である24円/kWhへと引き下げいくこととされている。なお余剰電力買取にかかった費用は電力価格へ上乗せされる形で電力の需要家全体で負担することになる。

3 太陽光発電の普及モデル

この章では太陽光発電システムの普及過程のメカニズムを解明するために用いるモデルについて説明する。この論文における分析の基本的な枠組みは明城・大橋(2009)で用いた構造方程式モデルと同様であるが、導入コストの代わりにオーナーシップ・コストを用いて需要モデルを構築している点が異なる。データの利用可能性の限界から、ここでの分析対象となる太陽光発電システムは同質財と仮定し、製品レベルでの価格差や性能差は考慮しないものとする。また太陽光発電モジュール単体の発電容量を太陽光発電のシステム容量と同値とみなし太陽電池の生産量(kW)を太陽光発電システムの生産量(kW)と同一に扱う。こうした仮定については将来の研究において製品レベルでのデータを用いたさらに精緻な分析によって頑健性が確認されることが望まれる。

3.1 太陽光発電のオーナーシップ・コスト

本論文では、太陽光発電の導入に係る費用のみならず導入後の発電による将来収益も加味したオーナーシップ・コストを定義することによって太陽光発電の普及を考える。具体的には、オーナーシップ・コストには、導入からT年間のコストとして、導入費用、補助金による控除、発電による電力の価値を含む。太陽光発電のシステム価格を p_t^{sys} 、補助金による控除額を G_t 、将来の発電電力の割引現在価値を ev_{jt} とすると、オーナーシップ・コストを以下と表せる。

$$oc_{jt} = p_t^{sys} - G_t - ev_{jt}$$

ここでシステム価格は太陽電池モジュールと周辺機器の価格に施工費用を加えたものである。すなわち、 p_t をモジュール価格、 p_t^{other} を周辺機器価格及び施工費用、 r を消費税率とすると、 $p_t^{sys} = r(p_t + p_t^{other})$ となる。またT年間の電力価値は、導入時における発電量 E_{jt} および売電電力量 SE_{jt} がT期間続くと仮定して、

$$ev_{jt} = (p_{jt}^{SE} \cdot SE_{jt} + p_{jt}^{BE} (E_{jt} - SE_{jt})) \cdot \frac{(1 - \delta^T)}{1 - \delta}$$

とする。ここで p_{jt}^{BE} は電力価格、 p_{jt}^{SE} は売電電力の買取価格、 δ は割引因子であり、 $p_{jt}^{SE} \cdot SE_{jt}$ は余剰電力の売電額、 $p_{jt}^{BE} (E_{jt} - SE_{jt})$ は太陽光発電による電力節約額を表す。

3.2 需要モデル

太陽光発電システムの需要関数をオーナーシップ・コストの関数として推定する。第t期における都道府県jの太陽光発電システムへの需要を $q_{jt}^{sys} \triangleq D(oc_{jt}, x_{jt}, \varepsilon_{jt} | \alpha)$ とする。ここで oc_{jt} は太陽光発電のオーナーシップ・コスト、 x_{jt} は都道府県の太陽光発電の導入に影響を与えるマクロ要因、 ε_{jt} は研究者が観測できない要因、そして α は需要パラメータである。太陽光発電のオーナーシップ・コストは前述の太陽光発電システムの導入に係る費用(システム価格)から国からの補助金およ

び将来の発電電力の経済価値を差し引いたものとした。国内の太陽光発電システムへの総需要は各県の需要の和 $Q_t^{sys} = \sum_j q_{jt}^{sys}$ である。また太陽電池モジュールの国内生産量 Q_t の全量が住宅用太陽光発電システムに利用されると仮定する ($Q_t = Q_t^{sys}$)。

3.3 太陽電池の費用関数

太陽電池の生産については、国内市場を合計 F 社による企業が数量競争するクールノ寡占の市場とみなして企業の生産行動をモデル化する。太陽電池市場の逆需要関数を $p_t(Q_t)$ とすると、企業 i の生産量が q_{it} のときの限界収入は以下となる。

$$mr_{jt}(q_{it}|\alpha) = \partial p_t(Q_t) q_{it} / \partial q_{it} = q_{it} \partial p_t(Q_t) / \partial Q_t + p_t(Q_t).$$

ただし $Q_t = \sum_{i=1}^F q_{it}$ である。また各企業が各期の利潤を最大化するように生産量を決定していると仮定すると、クールノ均衡では上記の限界収入と企業の限界費用が等しくなる生産量が最適な生産量となる。

本論文では、企業の限界費用が収穫一定であると仮定して、クールノ均衡下における各企業の限界費用を求める。今、太陽電池生産の限界費用が以下の Cobb-Douglas 型関数で与えられると仮定する。

$$mc_{it}(k_{it}, l_{it}, z_t, t; \theta) = \theta_{i0} k_{it}^{\theta_1} l_{it}^{\theta_2} z_t^{\theta_3} t^{\theta_4}, \quad i = 1, \dots, F.$$

ここで k_{it} は企業の生産キャパシティ、 l_{it} は生産習熟度、そして z_t は原材料価格とする。またトレンド項 t で産業の技術進歩を考えることもできる。

4 推定に利用するデータについて

構造モデル推定では、主として明城・大橋(2009)で用いた 1997 年から 2007 年までのパネルデータを用いる。システム導入量(都道府県別)および価格(モジュール、周辺機器及び施工費用)は財団法人 新エネルギー財団(以下では NEF とよぶ)の公表データであり、価格はすべて 1kW あたりの全国平均である。太陽光発電のオーナーシップ・コストに関しては導入から $T = 10$ 年間の発電電力を経済価値に換算する。またここでは割引因子 δ は 1.0 として将来価値の割引は考えないものとして議論する。⁸ 太陽光発電の発電量については NEF 公表の都道府県別の年間発電量 (kWh/kW) および売電電力量 (kWh/kW) のデータを用いる。また現状の余剰電力の買取価格は家庭用電力料金 (円/kWh) に等しいことから、電気事業便覧に掲載される電力会社各社の従量電灯 B の 2 段目の価格を電力の経済価値換算には用いる。なお、以上の価格データはすべて消費者物価指数 (CPI) を用いて 1997 年時点での価値に実質化されている。

需要関数 $D(q_{jt}|\alpha)$ に含まれる太陽電池の価格(およびシステム価格)は、市場均衡によって決まる内生変数である。したがって需要パラメータ α を不偏に推定するためには、価格とは相関を持つが残差項 ε_{jt} とは無相関と考えられる変数を操作変数に利用して推定を行う必要がある。本論文では明城・大橋(2009)と同様に現在太陽電池の主原料として利用されている多結晶シリコンの価格を操作変数として用いる。価格データはレアメタルニュースの半導体向け高純度多結晶シリコンの年平

⁸ なお、割引因子 δ を 0.95 としても以下での結論は定性的な影響を受けない。

均価格である。

また需要関数に含まれる太陽光発電の普及に影響を与えるマクロ要因には、世帯数、1 世帯当たりの所得水準(万円/年)、1 世帯当たりの年間電力消費量(kWh)、年間日照時間(h)、新規着工住宅戸数(自己所有)、電力充足率を考慮する。ここで電力充足率は太陽光発電を導入した場合の年間発電量が年間電力使用量に占める割合である。これは電力充足率が高いほど太陽光発電によって賄える消費電力の割合が多いことを意味し、太陽光発電を導入するインセンティブが高まることが予想されるためである。⁹ 以上のデータの出所については、世帯数は総務省の住民基本台帳、日照時間は気象庁の気象統計情報、消費電力量は日本電気協会発行の電気事業便覧、新規着工住宅戸数は国土交通省の建築着工統計調査である。また所得データは総務省の家計調査年報に掲載される県庁所在地における平均実収入である。

一方、太陽電池モジュールのメーカー別出荷量は Prometheus Institute 発行の PV NEWS のデータである。ただし、このデータでは各メーカーの国内出荷と輸出の生産量内訳が分からない。したがって、前述の NEF の国内住宅用の太陽光発電の導入量が全メーカーの生産量の合計に占める割合を求め、国内出荷割合がメーカー間で一定であると仮定して、この値を各メーカーの全モジュール生産量に掛けあわせ国内出荷量へと換算する。一方、生産キャパシティについてはデータ制約上の理由から各メーカーが生産設備をフル稼働しているものと仮定し、各メーカーの全モジュール生産量を生産キャパシティの代用値として利用する。この生産量は国内住宅向けの出荷だけでなく、国内産業向け出荷および海外輸出等を含んだ数量である。また企業の生産習熟度を測る指標として 1997 年から前年度までの累積生産量を用いる。表 1 に分析で用いるデータの要約統計量を示す。

5 推定結果

5.1 需要関数

需要関数にどのような関数形を仮定するかで、価格弾力性(本論文ではオーナーシップ・コストに関する弾力性)の推定値は大きく異なる可能性がある。本論文では推定した需要関数にもとづいて各メーカーの生産コストを推定するため、需要関数の定式化には特に注意を要する。ここでは Genensove and Mullin (1998)の方法にならい、線形モデル、対数線形モデル、両対数線形モデルの 3 つの関数形にて需要関数を推定した。

線型モデル	$q_{jt} \equiv \alpha \cdot oc_{jt} + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt}$
対数線形モデル	$q_{jt} \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt}$
両対数線形モデル	$\log(q_{jt}) \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt}$

⁹ 電力充足率は内生変数と見なされる可能性もある。なぜならば、太陽光発電を導入する際の設備容量を増やすことで発電量を増加させることができるためである。しかしながら NEF 公表の導入 1 件あたりの設備容量と本稿の電力充足率のデータ上の相関はわずか 0.096 でありほぼ無相関と考えられる。したがってここでは電力充足率を外生変数とみなす。

表 2 に需要関数の推定結果を示す。それぞれの関数形について、モデル 1-3 が OLS による推定結果、モデル 4-6 が操作変数を用いた 2SLS による推定結果である。

推定したモデルのいずれにおいてもオーナーシップ・コストの係数は統計的に有意に負となり、需要のオーナーシップ・コストに対する弾力性の平均値は、線型モデルを OLS 推定した場合で 2.4、対数線形モデルもしくは両対数線形モデルの場合に 1.0 程度である。また 2SLS 推定の場合には、弾力性は線型モデルで 10.9、対数線形モデルもしくは両線形対数モデルで 2.2~2.3 と大きくなる。これは需要関数がより急勾配となり、操作変数を用いることで需要関数に含まれる観測されない需要ショック(残差項)とオーナーシップ・コストの正の相関がある程度取り除かれた方向に価格弾力性が修正されたことを意味する。

また世帯数、日照時間、新規着工住宅戸数が需要に与える影響は統計的に正で有意であった。すなわちこれら変数値が大きい都道府県あるいは年は、太陽光発電の導入量も大きくなる傾向があることを意味する。また 1 世帯あたりの消費電力および電力充足率については、線型モデルを用いた場合のみ負、他のモデルを用いた場合には正の影響となった。線形モデルにおけるこれら変数の符号条件は、予想される結果とは逆であるが、これら変数間には負の相関があり(-0.59)、多重共線性の問題が発生している可能性が考えられる。一方で、所得水準はいずれのモデルにおいても有意な結果とはならなかった。これについては、太陽光発電を導入する世帯の割合は 2007 年時点で全世帯の約 1%程度といまだ少数であるため、県レベルでの所得平均では個々の世帯の意志決定を十分に捉えられない可能性を示唆しているとも考えられる。

以上のモデルでは、線型モデルの決定係数が 0.55 程度であるのに対して、対数線形モデルもしくは両対数線形モデルで 0.88 となり、線型モデルの当てはまりがあまり良くない。特にオーナーシップ・コストに対する弾力性が非常に高いため、線型モデルを用いると余剰電力買取制度の効果が過大に推定される可能性がある。また、両対数モデルではオーナーシップ・コストが対数値として扱うため、モデルの制約上、オーナーシップ・コストがマイナスとなる場合に需要量が発散する。これは余剰電力の買取価格を上昇させるという仮想的な状況をシミュレーションする場合に技術的な問題となる。これらの点を踏まえて以降の本分析では対数線形モデル(モデル 6)を採用する。

5.2 費用関数

表 3 に、費用関数の推定結果を示す。ここでモデル 1 は OLS による推定結果であるが、Durbin Watson 検定が 5%水準で有意となり残差項に正の自己相関が存在した。また企業間の残差項に分散不均一があるかどうかを Breusch and Pagan 検定したが、帰無仮説は棄却されず分散不均一は見られなかった。以上の残差に関して、モデル 2 では残差に AR(1)の自己相関モデルを仮定した場合、モデル 3 では残差が AR(1)かつ分散不均一を仮定した場合について FGLS 推定を行った。推定したモデルのすべてにおいて有意となった変数はシリコン価格およびトレンドである。本分析では、生産技術の進歩をトレンド項にて外生的に捉えているが、太陽電池の主原料であるシリコン価格に加えて技術進歩が生産コストに与える影響が大きいことを示す結果となった。一方、生産習熟効果を表す累積生産量の係数はモデル 3 のみで有意となった。そして、その係数-0.011

は累積生産量が 2 倍になると限界費用が 0.8%下がることを意味する。また生産キャパシティはいずれのモデルにおいても有意な結果は得られなかった。なお、以上の費用関数の推定結果は、明城・大橋(2009)での費用関数と一貫したものである。

6 新たな余剰電力買取制度に関する予測

本章では 2009 年 11 月に導入された新たな余剰電力買取制度のもとで、今後の太陽光発電の普及がどれだけ進むのかを前章で推定した構造方程式モデルを利用してシミュレーションを行う。この制度によって一般家庭の負担するオーナーシップ・コストは低減し、太陽光発電を導入するインセンティブが高まると考えられる。ここでは、買取価格の変化による余剰電力の経済価値の増加をオーナーシップ・コストの低下として扱い、それに応じて需要関数を変化させ太陽光発電の普及を推定値から数値計算することにより求める。

6.1 シミュレーション分析

太陽光発電の普及は、将来の余剰電力買取制度のあり方や太陽電池の生産性に関する技術進歩の程度など様々な要因によって影響を受けると考えられる。ここでは、余剰電力の買取制度と企業の生産コストに関していくつかのシナリオを設定し、そのシナリオのもとでの太陽光発電の普及をシミュレーションによって予測する。まず余剰電力買取制度については以下 3 つのシナリオを考える。

- (1) 既設および新規導入分の電力買取価格は 2007 年のままとする。
- (2) 既設および新規導入分の電力買取価格は 10 年間 48 円/kWh とする。
- (3) 2010 年導入分の電力買取価格は 10 年間 48 円/kWh とし、以降の導入分については段階的に買取価格を下げていき、制度導入後 5 年目以降は 2007 年水準に戻すものとする。

シナリオ(1)は、新たな余剰電力買取制度を導入せずに現状の買取価格を続けるケースである。このシナリオでは新たな買取制度の効果を推定する上での比較対象として設定した。シナリオ(2)は導入後 10 年間は余剰電力を 48 円/kWh で買取ることとし、導入から 11 年目以降は買取価格を 2007 年水準に戻すケースである。シナリオ(3)では既設および 2010 年の新規導入分については電力買取価格を 10 年間 48 円/kWh とするが、それ以降の新規導入分については買取価格を毎年 6 円/kWh ずつ段階的に下げていくものとする。すなわち 2011 年導入分は 42 円/kWh, 2012 年導入分は 36 円/kWh, 2013 年導入分は 30 円/kWh, 2014 年導入分は 24 円/kWh と 10 年間の固定買取価格を下げていくケースである。

一方、太陽光発電システムの限界費用が今後どのように低下していくのかについては、以下 3 つのシナリオを想定する。

- (a) 2007 年のまま一定とする。
- (b) 2008 年以降、過去と同じペース(年率 3.6%)で低下し続ける。
- (c) 2008 年以降 5 年で半減し(つまり年率 13%で低下し)、2013 年以降は一定となる。

シナリオ(a)は 2008 年以降、太陽電池産業の生産コストが 2007 年水準のまま一定のケースである。シナリオ(b)は 5.2 節で推定した 1997-2007 年の限界費用の年平均低下率と同じ割合(3.6%)で今後コストが下がっていくケースである。シナリオ(c)は 5 年間で限界費用が半減するペース、すなわち年率 13%でコストが低減するケースである。ただし、6 年目となる 2013 年以降は限界費用をそれ以上上げずに一定の値とする。なお上記のシナリオは太陽電池だけでなく周辺機器及び施工費用についても同様のシナリオを仮定している。

その他にシミュレーションを行うための以下のような仮定を設定した。まず 5.1 節で推定した需要関数のトレンドが今後も一定で続くものとする。次に住宅用太陽光発電への国の補助金は 2007 年と同じ 7 万円/kW で以降も継続的に給付されるものとする。また太陽電池市場への新規参入や退出はないものとする。そして需要関数の太陽光発電の普及に与えるマクロ変数はシミュレーションの期間を通じて 2007 年の値のままとしている。

以上の条件のもとで、前述の余剰電力の買取価格と生産コストについての 3 つのシナリオの組み合わせ(9 シナリオ)について 2030 年までの太陽光発電の普及をシミュレーションした。図 2 に各シナリオに基づいた場合の住宅用太陽光発電の導入量の推移を表す。図 2 の(1a)-(1c)は、買取価格のシナリオ(1)に対して生産コストのシナリオを(a)-(c)に変化させた場合の太陽光発電の普及量を表している。同様に(2a)-(2c)、(3a)-(3c)は買取シナリオ(2)、(3)に対してそれぞれ生産コストのシナリオを(a)-(c)に変更した場合の普及量を表している。

任意の生産コストに対して、新たな買取制度がない場合(シナリオ(1))、買取価格を段階的に下げた場合(シナリオ(3))、買取価格 48 円/kW を維持した場合(シナリオ(2))の順に導入量が増加することがわかる。もっとも普及が進むのは買取価格を維持し、生産コストが大きく下がるシナリオ(2c)のケースであり、この場合の 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 6,100 万 kW と 1 億 4200 万 kW に達する。一方、もっとも普及が進まないケースは生産コストが下がらずに買取制度も導入しないシナリオ(1a)であるが 2020 年と 2030 年の導入量はそれぞれ 650 万 kW と 1,200 万 kW である。

また同一の買取価格のシナリオに対して、生産コストの低下が大きいほど余剰電力買取制度が普及に与える影響も大きくなっていくこともわかる。例えば生産コストが全く低下しない場合(シナリオ(a))では、買取価格 48 円/kW を続けたとき(シナリオ(2a))と買取制度を導入しないとき(シナリオ(1a))の 2030 年における導入量の差は 1,500 万 kW であるが、限界生産費用が年率 3.6%ずつ落ちる場合では両者(シナリオ 1b と 2b)の差は 6,800 万 kW と 4.5 倍程度に広がる。つまり今回の余剰電力買取制度が普及に与える影響は太陽光発電システムの生産コストが大きく低減するほど大きくなることが明らかとなった。

表 4 に各シナリオの 2020 年と 2030 年における累積導入量を示す。太陽光発電システムは、余剰買取制度がなければ 2020 年でも 600 万 kW にすぎないが、今回の新たな余剰電力買取制度によって想定通りに生産コストが 5 年間で半減すれば、2005 年度比 20 倍である 2,800 万 kW 水準を超えることが分かる。

6.2 CO2 削減効果

6.1 節にて議論したいいくつかのシナリオにおける太陽光発電の普及によって削減されるCO2 量について本節では議論したい。独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOとよぶ）にて公表されている太陽光発電の排出源単位にもとづいて、6.1 節のシナリオそれぞれのCO2 削減効果を試算する。表 5 にライフサイクルでの太陽光発電と電力全体のCO2 排出源単位を示す。この値にもとづくと太陽光発電による発電 1kWhにつき電力平均との差 387. 0gのCO2 削減効果があると考えられる。また太陽光発電の耐用年数は 20 年であるとする。¹⁰ このとき、1997 年から 2030 年にかけての住宅用太陽光発電の普及がもたらすCO2 削減効果は以下で表される。

$$\Delta\text{CO2} = \sum_{t=1997}^{2030} \sum_j 20 \cdot \rho \mu_{jt} q_{jt}^{\text{sys}}.$$

ここで q_{jt}^{sys} は都道府県jにおけるt期の太陽光発電の導入量、 μ_{jt} は太陽光発電 1kWあたりの発電量(kWh/kW)、 ρ は表 5 における太陽光発電 1kWhあたりのCO2 削減効果(g/kWh)である。ただし、2008 年以降の設備容量 1kWあたり発電量は 2007 年の値を用いる。¹¹

表 6 の第 4 列に 1997-2030 年の太陽光発電の導入によって達成されるCO2 削減効果を示す。住宅用太陽光発電がもっとも普及が進むシナリオ(2c)、すなわち買取価格 48 円/kWhを維持し限界費用が 5 年で半減するケースでは 1997-2030 年導入分のCO2 削減効果は 10 億トン程度となる。これは 2007 年における日本のCO2 年間総排出量 13.0 億トンの約 77%に相当する。¹² シナリオ(3c)、すなわち買取価格を 48 円/kWhから段階的に下げていき、限界費用が 5 年で半減するシナリオでは、1997-2030 年導入分のCO2 削減効果は 5.59 億トンとなる。一方、もっとも太陽光発電の普及が進まないシナリオ(1a)、すなわち買取制度を行わず限界費用も下がらないケースでは 1997-2030 年導入分がもたらすCO2 削減効果はわずか 1.07 億トンである。

表 6 の第 5 列に 2020 年時点での CO2 削減量、第 6 列にそれが 1990 年における日本の CO2 年間総排出量に占める割合を示す。ここで 2020 年における CO2 削減量は、2001-2020 年の 20 年間に導入された太陽光発電が当該年において削減する CO2 排出量である。普及がもっとも進むシナリオ(2c)では 2020 年のCO2削減量は 0.26 億トンとなり、これは日本の 1990 年におけるCO2 総排出量(11.4 億トン)の 2.3%にあたる。シナリオ(3c)では削減量は 0.14 億トン、1990 年の排出量比で 1.2%である。

6.3 余剰電力買取制度の費用対効果

余剰電力買取制度による CO2 削減効果はどれだけの経済価値があるのだろうか？ CO2 の外部性を計量する方法には以下の 3 つが考えられる。第 1 の方法は CO2 の増加がもたらす損害、例えば地球温暖化に起因する海面上昇が地域生態系に与える悪影響、異常気象による自然災害

¹⁰ NEDO 資料『太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究』, 2007.

¹¹ ここでは将来の技術進歩による太陽電池の種類の変更やシステム発電効率の改善等は考慮しない。

¹² 日本の CO2 排出量は国立環境研究所資料『日本国温室効果ガスインベントリ報告書』, 2009 年 4 月掲載の値。

の発生、気候や降水量の変化による農作物収穫の低減など、を想定される様々なシナリオにもとづいて経済損失額として推計する方法である。Tol(2005)では CO₂ の社会的費用を推定した 103 の事例研究を取り上げ、それらの推計値から CO₂ が限界的に 1 トン増加するときの費用の事後分布を求めている。これによると CO₂ の限界費用の平均値は 3044 円/トン-CO₂、中央値は 458 円/トン-CO₂ である。第 2 の方法は、あらかじめ設定した CO₂ 削減目標値を達成するのに必要なグリーン技術の導入や研究開発、および産業規制の導入といった具体的な対策を想定し、それらを実施するのに必要な費用積算にもとづく方法である。環境省の日本低炭素社会シナリオにおいて 2050 年に 1990 年比で温室効果ガスを 70%削減するための平均削減費用は 6818~10882 円/トンである。CO₂ の経済価値を計算する第 3 の方法は市場での取引価格に基づく方法である。日本では事業者が CO₂ 排出量の削減を義務づける直接的な法律はないものの、2005 年より環境省の主導によって自主参加型による事業者間での CO₂ 排出権取引が行われている。2005-2007 年の取引価格は CO₂ の 1 トンあたり平均 1212 円であった。

ここでは 2010-2030 年の太陽光発電の普及がもたらす CO₂ 削減効果の経済価値を、(i) 市場取引額(1212 円/トン-CO₂)、(ii) Tol(2005)における平均値(3044 円/トン-CO₂)、(iii) 対策費用の上限値(10882 円/トン-CO₂)のそれぞれの CO₂ 価格で評価した。この結果、政府の想定するシナリオ(3c)で削減される 5.6 億トンの CO₂ には、換算に用いる価格によって異なるものの、0.7~6.1 兆円程度の経済価値があると考えられる。

余剰電力の買取費用は一般家庭の電力料金へ上乗せされる形で需要家全体で負担することになる。¹³ したがって新たな余剰電力買取制度のもとでの現状との買取差額は社会的な費用負担とみなせる。図 3 にそれぞれのシナリオで必要となる買取差額負担の総額の推移を表す。¹⁴ ただし買取制度を導入しないシナリオ(1a)-(1c)での追加費用は 0 である。シナリオ(3c)では 2019 年まで毎年 900~1890 億円、そして制度の最終年度となる 2014 年に導入された分の固定価格買取が終了する 2023 年までに総額 1.9 兆円程度の負担が必要となる。一方、固定価格 48 円/kWhでの買取を続けるシナリオ(2c)では、2030 年までの導入分について固定価格買取を保証するには総額 25.8 兆円もの追加負担が必要となる。

更に各シナリオで達成される消費者余剰と生産者余剰を明城・大橋(2009)と同様の方法に従って算出した。ここで生産者余剰については太陽電池メーカー、周辺機器及び施工業者の利潤を考慮した。ただし、周辺機器及び施工業者については限界費用が分からないため、5.2 節で推定した太陽電池産業全体の限界費用の価格に占める割合と同じ値を用いて利潤を推計している。表 8 では前述の CO₂ 削減量の経済価値、消費者余剰、生産者余剰、電力買取費用を用いて買取制度の費用対効果を求めた。ただし、ここで買取制度を導入しない場合の比較対象として生産コスト

¹³ 余剰電力の買取額が電力料金に上乗せされる場合、太陽光発電による電力節約分(発電量-売電量)の経済的価値は高まると考えられる。この場合、太陽光発電のオーナーシップ・コストは 3.1 節で求めたものより低い値となるため、6.1 節で行ったシナリオ分析よりも今後の太陽光発電の導入量が進む可能性がある。しかしながら、ここでは上記の影響は無視できるものと仮定する。

¹⁴ 当該制度では、新規導入だけでなく既設の太陽光発電についても 10 年間の固定価格買取を保証している。ただし太陽光発電の寿命を 20 年とした場合、10 年間の固定価格買取を受けられるのは 2000 年以降に導入された世帯だけである。したがって図 3 では、2000 年以降に導入されたものを費用計算の対象としている。

が 2007 年のまま変わらないとするシナリオ(1a)を取り上げ、このシナリオとの社会余剰の差をシナリオ(2a)-(2c)およびシナリオ(3a)-(3c)の費用対効果とした。シナリオ(1a)と比較する理由は、新たな買取制度の導入により太陽光発電産業での設備投資が促されその結果として太陽光発電システムの生産コストが低減するだろうとの想定による。もちろんこの仮定を置くことにより、余剰買取制度の効果を過大に見積られている可能性があることに注意が必要である。結果として、生産コストが低減する場合(2b,2c,3b,3c)には CO2 削減価値の評価にかかわらず社会余剰は 6.7～20.1 兆円のプラスとなった。また CO2 削減価値を対策費用の上限となる 10882 円/トン-CO2 で見積もった場合を除き、買取価格 48 円/kW を継続するシナリオ(2b,2c)よりも、段階的に低下させていくシナリオ(3b,3c)のほうが高い社会余剰が得られることが分かった。これは前者のシナリオでは余剰買取費用の負担が非常に大きくなることによる。一方、生産コストが変わらない場合(2a, 3a)には、CO2 削減価値を対策費用の上限 10882 円/トン-CO2 で見積り、なおかつ 48 円/kW での買取を継続するシナリオ(2a)を除いて、社会余剰は 2.6～5.1 兆円のマイナスとなった。以上の分析から、社会余剰の観点からも生産コストが下がるか否かが新たな余剰電力買取制度の評価の明暗を分ける鍵であると言える。

7 全量買取の場合のシミュレーション

2009 年 11 月から始まった買取制度は、余剰電力に注目して国民負担を抑えるよう配慮した日本独特の制度であった。だが、ドイツやスペインなどで行われているような全量買取制度と比べ、太陽光発電システムの導入インセンティブが低いことも否めない。もし仮にわが国にて住宅用太陽光発電の全量買取を実施したならば、太陽光発電はどれだけ普及するだろうか。

この章では、住宅用太陽光発電で作られる電力全量を電力会社が 48 円/kWh にて買取、そのコストは電力料金に上乗せされる場合を想定して分析を行った。具体的には、6.1 節と同じ買取価格と生産コストに関するシナリオのもとで、買取制度の対象を全量買取に拡大した場合の太陽光発電の普及についてシミュレーションを行った。この結果、買取価格を段階的に下げるシナリオ(3a)-(3c)では買取制度の対象となる 2010-2014 年の年間導入量は、余剰電力買取の場合に比べて平均で 1.44 倍まで増加した。一方、買取価格 48 円/kWh を継続するシナリオ(2a)-(2c)では 2010 年以降の年間導入量は余剰買取の場合と比べて 1.85 倍へ増加した。図 5 に全量買取のもとでの 2030 年までの累積導入量の推移を示す。もっとも普及が進む買取価格 48 円/kWh を継続し生産コストが 5 年で半減するシナリオ(2c)では 2020 年の累積導入量は 1 億 1000 万 kW となる(余剰買取の場合の 1.8 倍)。この場合、2020 年を待たずに 2005 年度比の 55 倍を達成できることが分かった。この 55 倍という数字は、2020 年での温暖化ガス排出量を 1990 年排出量比で 25%削減を達成するために必要な太陽光発電の目標量として、2009 年 4 月に地球温暖化問題に関する懇談会での中期目標検討委員会において示された一つの目安である。この場合、2020 年には 1990 年排出量の 4.1%に相当する 4,742 万トンの CO2 排出量が削減されることになる。なお、増加割合の最も少ないのはシナリオ(3b)で、2020 年の累積導入量は 1,800 万 kW(余剰買取の場合の 1.15 倍)である。この場合の CO2 削減量は 780 万トン(1990 年排出量の 0.7%)となる。

以上の普及のシミュレーションからは、太陽光発電の電力を全量買取にすることで普及を更に進めることができると言える。但し、電力買取の負担も増加することになる。シナリオ(3c)での電力買取の総費用は、余剰電力買取の場合には1.9兆円であったのに対して(表7参照)、全量買取の場合には6.6兆円へと3.5倍となる(表8参照)。更に、48円/kWhでの買取りを続けるシナリオ(2c)にいたっては、2030年までの太陽光発電の導入分に対する買取費用の総額は、余剰買取の場合に25.8兆円であったのに対して、全量買取の場合には105兆円へと跳ね上がる。この場合、削減されるCO₂の価値を最大の10882円/トン-CO₂で見積もっても社会余剰は-1.3兆円の負になってしまう。表8では買取制度を導入せず生産コストも下がらないシナリオ(1a)との比較において、全量買取の基での各シナリオの社会余剰を求めた。この表からも48円/kWhでの買取を継続するシナリオ(2a)-(2c)では電力買取の費用が大きいため、社会余剰が大きく損なわれてしまうことが分かる。余剰損失の最も少ない場合(シナリオ(2a)においてCO₂の価値を最大に見積もった場合)でもその額は-5.6兆円である。

他方で買取価格を48円/kWhから段階的に下げていくシナリオ(3a)-(3c)においては、生産コストが変化しないとした(3a)を除き、費用対効果は正となった(表8参照)。ただし、この場合でも表8の全量買取での社会余剰は表7の余剰買取のときよりも低いことが見て取れる。例えばシナリオ(3c)では、余剰買取の費用対効果は12.0～16.3兆円であったのに対して、全量買取の費用対効果は8.9～13.8兆円となっている。

以上から、買取制度を余剰買取から全量買取にすることで太陽光発電の普及を更に促すことが可能ではあるものの、電力買取にかかる費用負担の増加にともなって社会余剰の増加は少ないことが分かる。

8 ディスカッション

本論文では、2009年11月に導入された新たな余剰電力の買取制度のもとでの太陽光発電の今後の普及を予測し、その経済効果を定量的に評価した。買取価格と生産コストに関していくつかのシナリオを仮定し、シミュレーションによって2030年までの太陽光発電の導入量を予測し、それがもたらすCO₂削減効果と費用対効果を分析した。その結果、生産コストがこれまで同じペースで低下すると仮定した場合、2020年までの累積導入量は、買取価格を48円/kWhから段階的に下げていくケースで1,600万kW(2005年の15.0倍)、買取価格48円/kWh継続するケースでは3,100万kW(2005年の29.7倍)になると推定された。ただし、生産コストが全く下がらない場合には、たとえ買取価格48円/kWhを継続したケースでも2020年までの累積導入量は1,300万kW(2005年の12.2倍)にとどまる結果となった。

消費者余剰、生産者余剰、余剰電力の買取費用、及びCO₂削減効果の経済価値を考慮した場合、新たな買取制度の社会余剰はプラスとなり、余剰電力買取制度は経済学的に正当化されることが明らかとなった。ただし、生産コストが変化しない場合は、社会余剰は負となり余剰買取による補助金を経済学的な観点から正当化することは難しいであろう。

また、同制度での買取対象を余剰電力でなく発電量の全量にした場合、太陽光発電の普及を

更に進められることがシミュレーション結果から分かった。この場合、2020 年までの累積導入量は最も普及が進むケースで 1 億 1000 万 kW に達するものと推定された。ただし、電力買取にかかる費用は余剰買取の場合の 3.0～4.1 倍に増加すると推定され、社会的便益の観点からは余剰買取よりも社会余剰が低くなる結果となった。

本論文での分析結果から、買取制度の在り方に加え、太陽電池や周辺機器などの生産コストがどれだけ下がるのかが、今後の太陽光発電の普及の鍵を握っていると言える。5.2 節の費用関数の推定結果にもとづくと、産業全体の限界費用は 1997 から 2004 年にかけて年率 4.5%低下しているが、2004 から 2007 年ではわずか年率 0.4%しか低下しておらず(つまり分析期間中の平均は 3.6%減少)、近年では生産コストの低下が鈍ってきている。この現状を踏まえると、6.1 節での生産コストに関するシナリオ(b)および(c)を満たすためには、太陽電池およびその周辺産業において、これまで以上の技術革新が期待される。シリコン原料を大幅に節約できる薄膜型太陽電池の開発や、純度の低いソーラーグレード・シリコンの生産拡大などコスト削減に向けた生産技術の普及はそうした技術革新の一環として重要な役割を果たすことだろう。

今後、中国などを中心にさらなる海外メーカーが日本市場に参入することも予想される。¹⁵ こうした新規参入による供給者の増加は結果として価格の低下を促し、太陽光発電の普及を大きく促す可能性がある。他方で、輸入の拡大は国内メーカーの育成や太陽光発電関連産業における雇用拡大を阻害することにもなりかねない。表 8 の費用対効果の結果からは、たとえ生産者余剰の増分がすべて海外に流出したとしても、価格低下による消費者余剰の増加は十分に大きく、余剰電力の買取制度は社会便益の増加をもたらすとの結果が得られたが、産業政策的な観点からは国内メーカーの一層の奮起に期待がかかるところである。

本論文においては、送配電ネットワークについての技術的制約は存在しないとの仮定のもとで議論を行った。しかし太陽光発電の大量導入が進んだ場合に、電圧上昇や周波数低下、余剰電力の発生などに対する対策が現実のものとして急務となるだろう。こうした系統安定化への対策やそれにかかる費用についても十分に検討することが肝要である。なお本分析によれば、図 6 に示されているように、太陽光発電は各電力会社について地域として均一に導入されるわけではなく、かなり偏在する形をもって導入されることが予想される。太陽光発電の大量導入が地域偏在を伴う形で導入された場合、余剰電力等への対策として、地域間連系線の果たす役割もまた大きくクローズアップされると見込まれる。新エネルギーの大量導入に伴うこうした連系線の新たな活用の在り方も考えるときに来ているといえるだろう。

参考文献

Genesove, D., and Mullin, W. P., 1998, “Testing static oligopoly models: conduct and cost in the sugar industry, 1989-1914,” *RAND Journal of Economics*, 29, 355-377.

¹⁵ 実際に 2007 年の海外メーカーの市場シェアはわずか 0.3%程度であったが、2008 年以降、安価な中国製の太陽電池モジュールを採用した製品がシェアを伸ばしつつある。

PV NEWS, March 1996-2008, Prometheus Institute.

電気事業便覧, 1997-2007, 日本電気協会.

『太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究』, 2007, NEDO

『日本国温室効果ガスインベントリ報告書』, 2009, 国立環境研究所

レアメタルニュース, 1997-2007.

明城聡・大橋弘, 2009, 『住宅用太陽光発電の普及に向けた公的補助金の定量分析』, 科学技術政策研究所ディスカッションペーパー

図 1 住宅用太陽光発電システムの価格と累積導入量

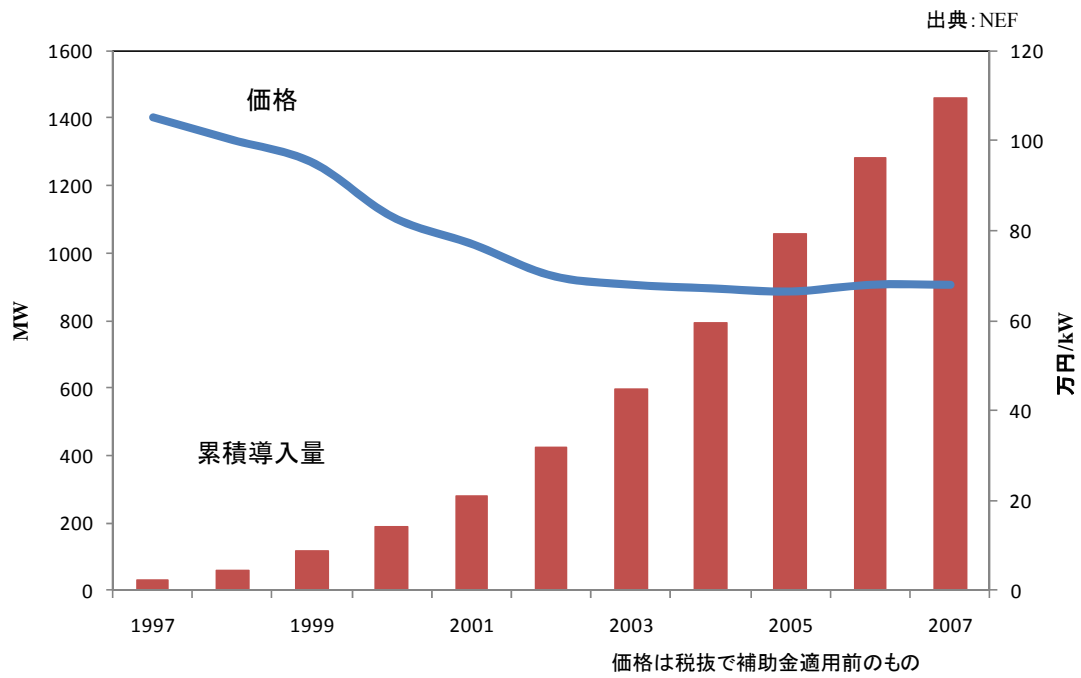
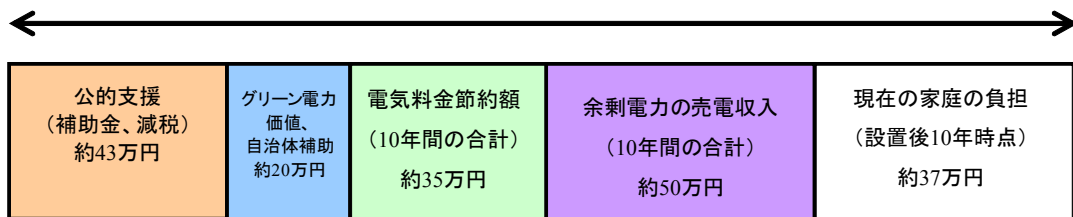


図 2 太陽光発電システムのコスト回収

太陽光発電システムの導入コスト
(2007年時点で185 万円程度、新築におけるモデルケース)



出典: 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会
電気事業分科会買取制度小委員会資料

図3 余剰電力買取制度のもとでの累積導入量

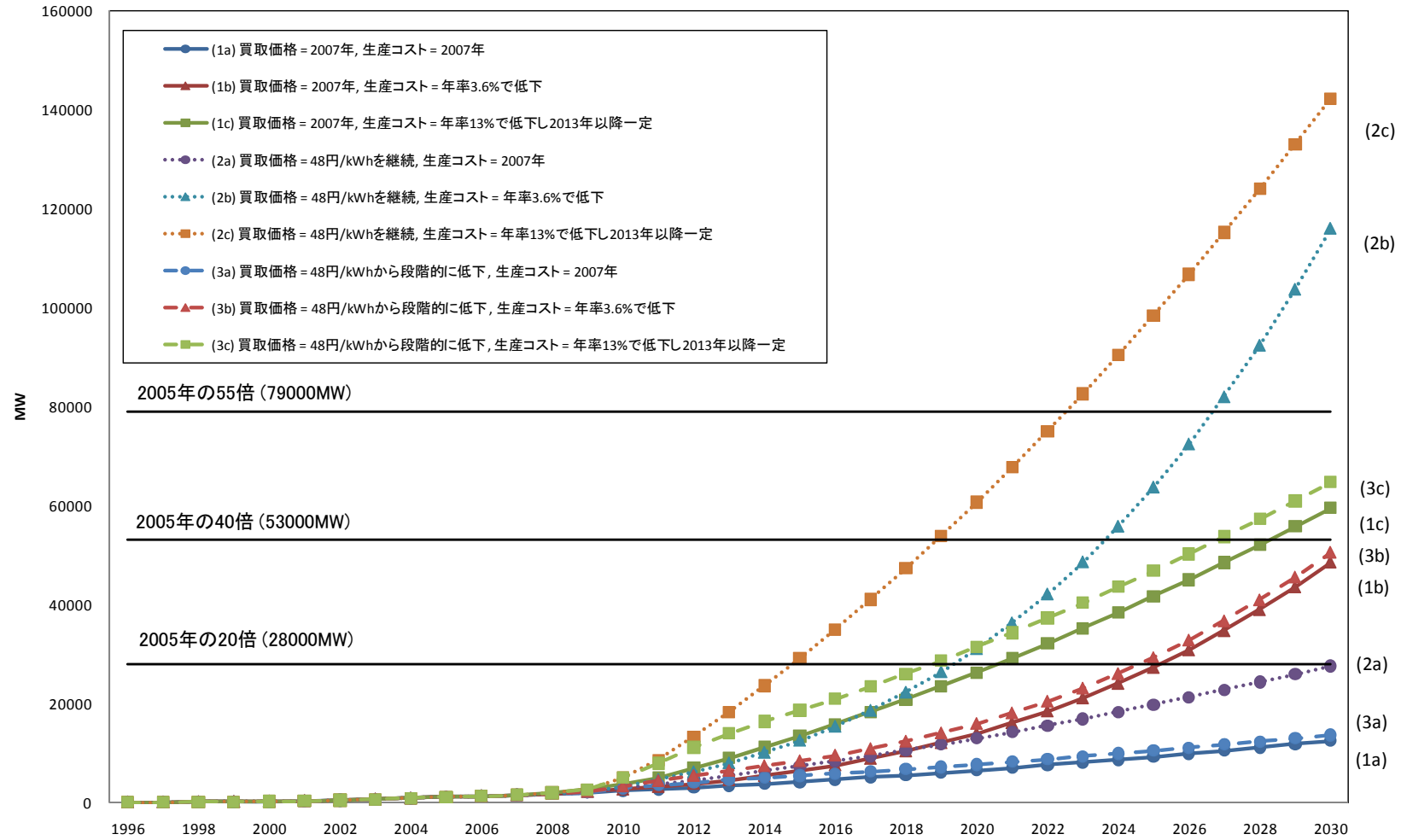


図 4 余剰電力の買取費用

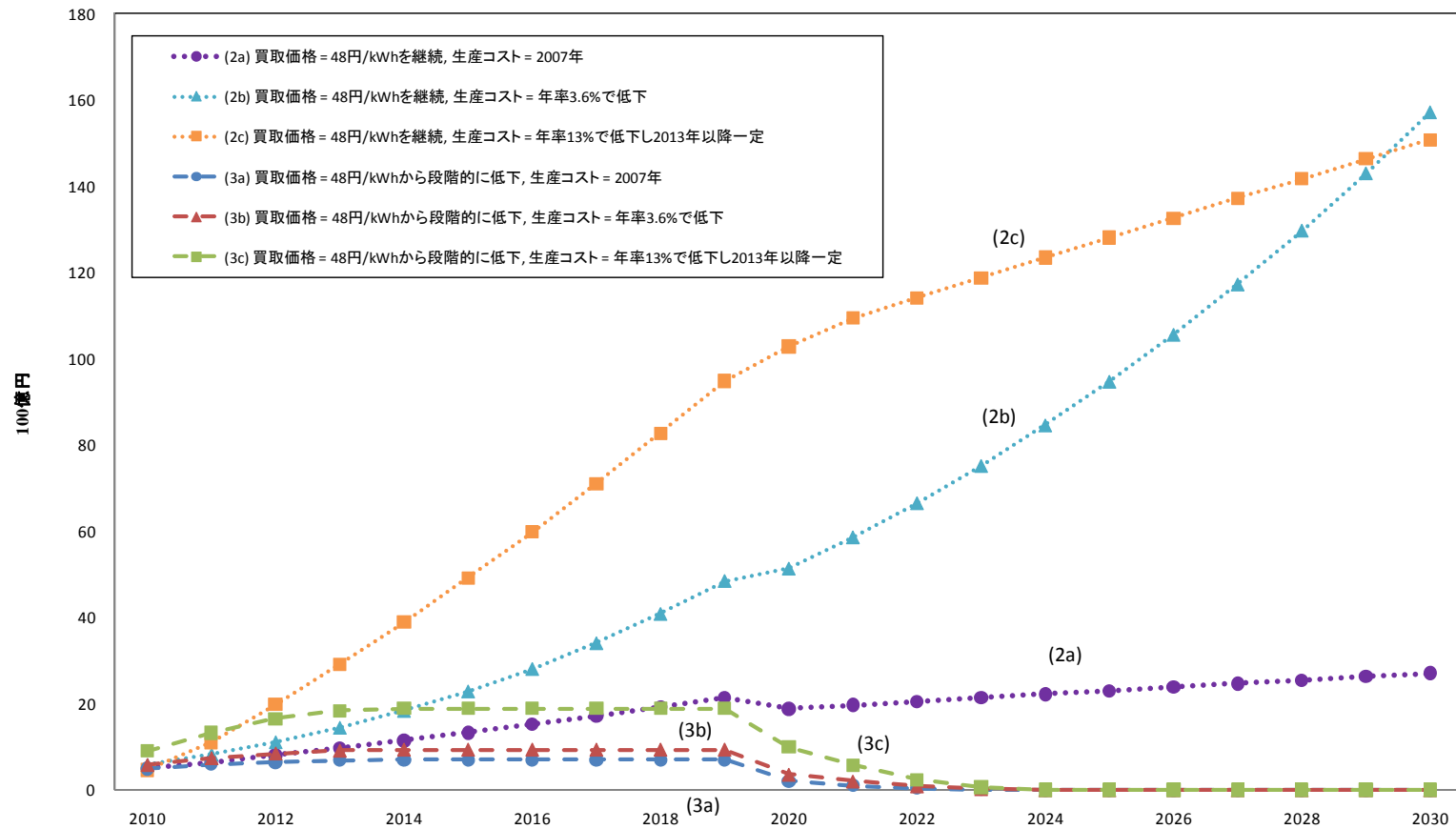


図5 全量買取の場合の累積導入量

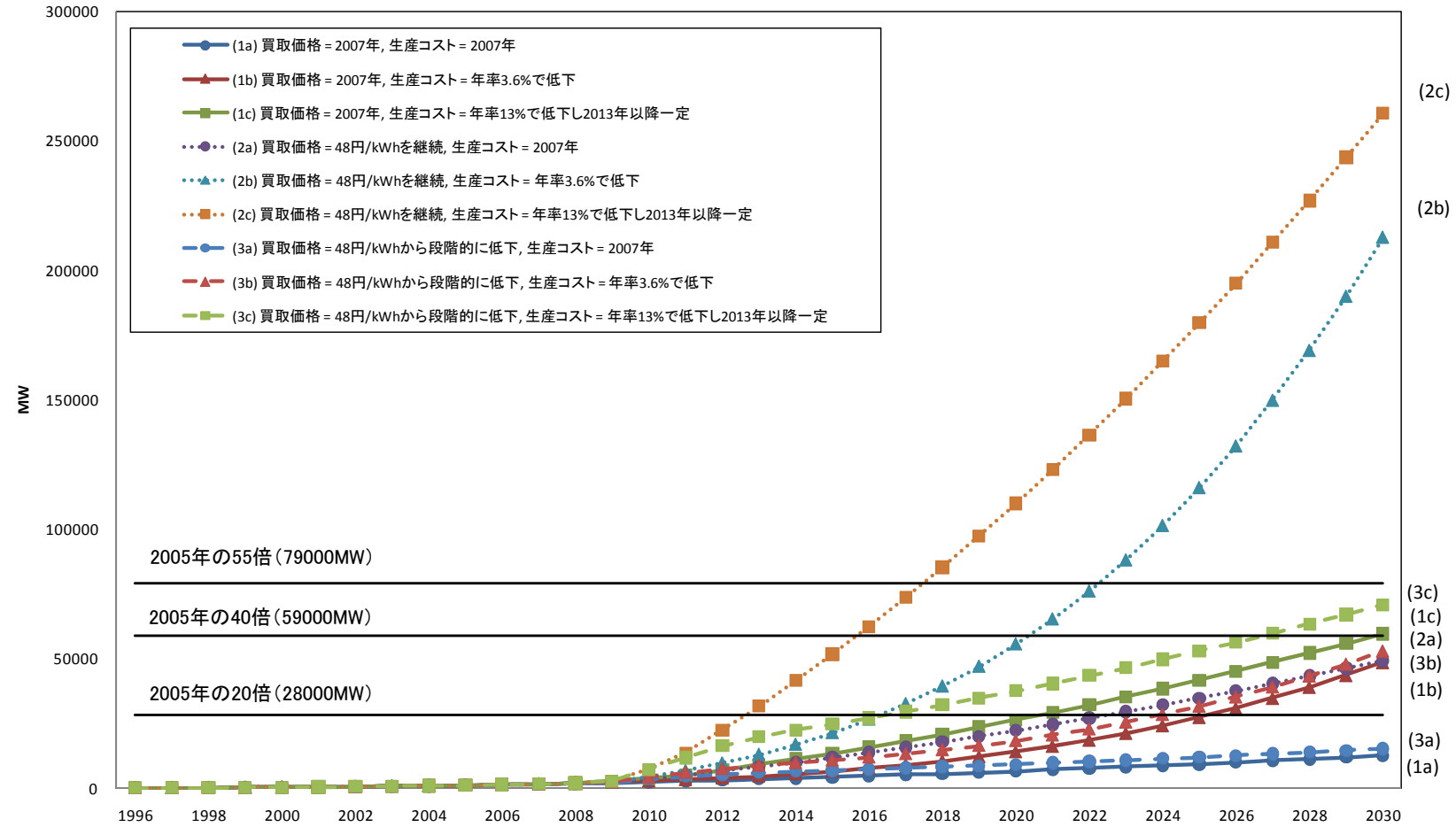


図 6 余剰買取のもとでの累積導入量(シナリオ 3c, 電力会社別)

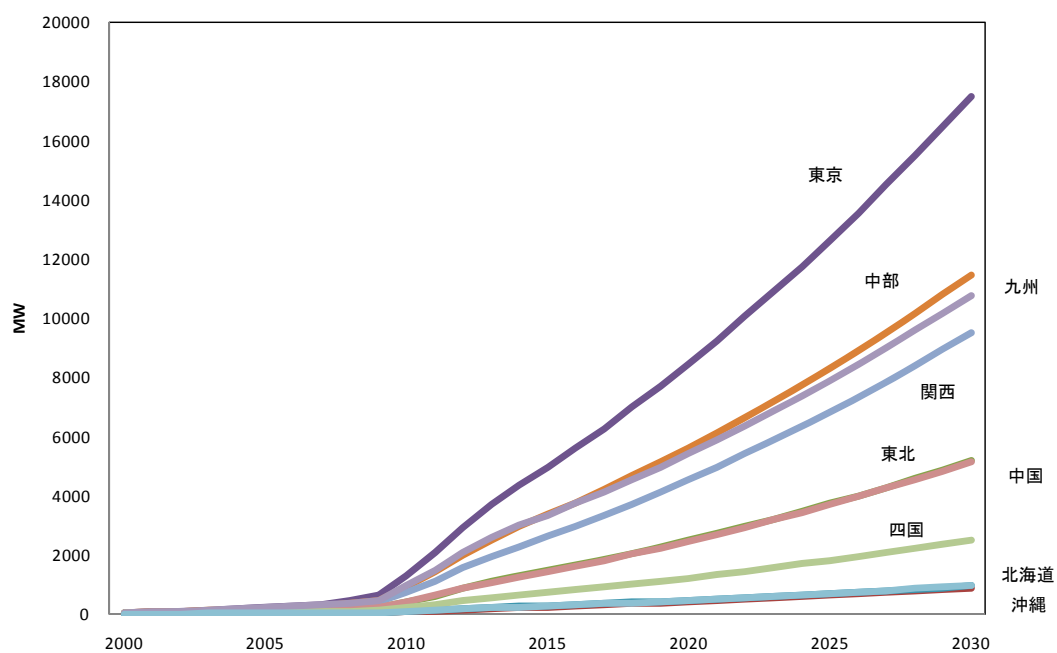


表 1 市場データ(1997-2007 年)の要約統計量

企業データ

	平均値	最小値	最大値	標準偏差
住宅向け出荷量 ^a				
1社当たり (kW)	19366.0	3247.7	37391.7	11688.0
成長率 (%)	27.2	-20.8	105.0	36.2
生産キャパシティ ^b				
1社当たり (kW)	57721.8	5833.3	132414.3	50535.8
成長率 (%)	38.1	-0.7	65.3	21.2
太陽電池価格 (万円/kW)	50.9	42.8	67.4	9.2
企業数	6.6	6.0	7.0	0.5
HHI	3180.2	2580.4	3589.0	298.2

a: 企業の全生産量に日本の住宅向け出荷率を乗じた値

b: 企業の全生産量

都道府県データ

	平均値	最小値	最大値	標準偏差
オーナーシップ・コスト(万円/kW) ^c	48.0	37.8	62.2	5.4
電力充足率 ^d	0.67	0.41	0.97	0.09
世帯数	1034498	201174	6060432	1075242
1世帯あたりの所得(万円)	672.6	426.6	971.4	82.0
新規住宅着工数	8328	1428	28274	6211
1世帯あたりの消費電力量(kWh)	5662.0	4018.0	9324.7	692.5
年間日照時間(h)	1888.6	668.4	2401.9	230.3

c: システム価格 - 補助金 - 10年間の発電電力量の経済価値

d: 1世帯あたりの年間発電量 / 1世帯あたりの年間消費電力

表 2 需要関数の推定結果

	OLS						2SLS					
	(1) Linear	(2) Log-Log		(3) Log-Linear			(4) Linear	(5) Log-Log		(6) Log-Linear		
切片	-36.572 (2561.500)	-27.759 (3.867)	***	-30.803 (3.715)	***		9027.500 (3180.400)	**	-22.403 (4.169)	***	-28.464 (3.848)	***
オーナーシップ・コスト	-32.166 (17.315)	* (0.253)	***	-1.035 (0.005)	***		-144.740 (28.084)	***	-2.184 (0.387)	***	-0.048 (0.008)	***
電力充足率 ^a	-783.990 (1660.100)	2.012 (0.319)	***	2.026 (0.319)	***		-3583.500 (1808.900)	*	1.788 (0.330)	***	1.779 (0.332)	***
世帯数	2.197E-04 (1.579E-04)	0.380 (0.093)	***	0.380 (0.093)	***		1.863E-04 (1.645E-04)		0.436 (0.095)	***	0.446 (0.096)	***
1世帯あたりの所得	-1.151 (1.118)	0.029 (0.209)		0.026 (0.209)			-0.211 (1.178)		0.109 (0.214)		0.117 (0.215)	
新規住宅着工数	0.146 (0.027)	*** (0.096)	***	0.426 (0.097)	***		0.148 (0.028)	***	0.378 (0.099)	***	0.368 (0.100)	***
1世帯あたりの年間消費電力量	-0.644 (0.236)	** (0.406)	***	1.661 (0.406)	***		-0.941 (0.253)	***	1.624 (0.414)	***	1.643 (0.417)	***
年間日照時間	2.417 (0.412)	*** (0.215)	***	1.988 (0.215)	***		2.050 (0.434)	***	1.800 (0.224)	***	1.757 (0.227)	***
トレンド	552.400 (38.617)	*** (0.054)	***	0.970 (0.054)	***		550.670 (40.192)	***	0.901 (0.058)	***	0.880 (0.059)	***
R ²	0.580			0.817			0.545		0.809		0.807	
F-stat	87.565	***		283.274	***		75.961	***	269.748	***	265.175	***
需要のOCに対する弾力性 ^b	-2.430			-1.035			-10.933		-2.184		-2.292	

線型モデル(Linear)の変数はすべて実数値、両対数線形モデル(Log-Log)の変数はすべて対数値、

対数線形モデル(Log-linear)の変数はオーナーシップコストを除き対数値

括弧内の数値は標準誤差を表す。有意水準：* 5%，** 1%，*** 0.1%

a: 太陽光発電を導入した場合の1世帯あたりの年間発電電量(kWh) / 1世帯あたりの年間電力消費量(kWh)

b: 推定に用いたデータ点における弾力性の平均値

表 3 費用関数の推定結果

	OLS	FGLS	
	(1)	(2)	(3)
キャパシティ	-0.0148 (0.014)	-0.013 (0.012)	0.002 (0.006)
学習効果	-0.016 (0.014)	-0.011 (0.012)	-0.011 ** (0.003)
多結晶シリコン価格	0.205 *** (0.029)	0.191 *** (0.026)	0.171 *** (0.012)
トレンド	-0.221 *** (0.031)	-0.238 *** (0.028)	-0.255 *** (0.010)
企業固定効果			
三洋電機	4.207	4.194	4.093
カネカ	4.208	4.204	4.122
京セラ	4.176	4.157	4.046
三菱電機	4.205	4.193	4.093
シャープ	4.095	4.082	3.964
エア・ウォーター	4.188	4.186	4.131
キャノン	4.206	4.198	4.135
松下電工	4.181	4.184	4.128
三菱重工業	4.195	4.202	4.129
残差の自己相関 ^a	No	Yes	Yes
残差の分散不均一 ^b	No	No	Yes
Durbin Watson 統計量	0.727 **	-	-
BP 統計量 ^c	4.950	-	-
ρ	-	0.387	0.387
F 統計量	209.950 ***	-	-
Wald χ^2 統計量	-	6.76E+05 ***	4.89E+06 ***

各変数の値は対数値

括弧内の数値は標準誤差を表す。有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

推定モデル: $\log(mc_{it}) = f(x_{it}) + u_i + v_{it}$

a: 残差項にAR(1)の自己相関を仮定: $v_{it} = \rho v_{it-1} + \varepsilon_{it}$

b: 残差項に不均一分散を仮定 $\text{var}(v_{it}) = \sigma_i^2$

c: Breusch and Pagan ラグランジュ乗数検定 $H_0: \text{var}(v_{it}) = \sigma^2$

表 4 2020 年及び 2030 年における累積導入量

電力買取り価格	限界費用	累積導入量(GW)	
		2020年	2030年
(1a)	2007年のまま	6.47	12.44
(1b) 2007年のまま	年率3.6%で低下	13.91	48.56
(1c)	年率13%で低下し2013年以降一定	26.23	59.48
(2a)	2007年のまま	12.94	27.58
(2b) 48円/kWhを維持	年率3.6%で低下	31.01	116.03
(2c)	年率13%で低下し2013年以降一定	60.63	142.21
(3a)	2007年のまま	7.67	13.63
(3b) 48円/kWhから段階的に低下	年率3.6%で低下	15.90	50.55
(3c)	年率13%で低下し2013年以降一定	31.42	64.68

表 5 太陽光発電の CO2 削減効果

	g/kWh
電力全体のCO ₂ 排出原単位 ^a	445.6
太陽光発電のCO ₂ 排出原単位 ^b	58.6
太陽光発電のCO ₂ 削減効果	387.0

a: 出典: NEDO報告書「太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究」

b: 住宅用太陽光発電(多結晶シリコン電池)の排出原単位

表 6 住宅用太陽光発電による CO2 削減効果

電力買取価格		限界費用	1997-2030年導入分の CO2削減効果(億トン) ^a	2020年における CO2削減量(億トン) ^b	1990年における CO2総排出量に占める割合 ^c
(1a)	2007年のまま	2007年のまま	1.07	0.027	0.2%
(1b)		年率3.6%で低下	4.20	0.059	0.5%
(1c)		年率13%で低下し2013年以降一定	5.14	0.112	1.0%
(2a)	48円/kWhを維持	2007年のまま	2.38	0.055	0.5%
(2b)		年率3.6%で低下	10.03	0.133	1.2%
(2c)		年率13%で低下し2013年以降一定	12.30	0.261	2.3%
(3a)	48円/kWhから段階的に低下	2007年のまま	1.17	0.032	0.3%
(3b)		年率3.6%で低下	4.37	0.068	0.6%
(3c)		年率13%で低下し2013年以降一定	5.59	0.135	1.2%

a: 1997-2030年に導入された太陽光発電がそれぞれ20年間で削減するCO2の総量

b: 2020年時点で過去20年間(2001-2020)に導入された太陽光発電が削減するCO2の総量

c: 2020年におけるCO2削減量が1990年の日本のCO2総排出量(11.4億トン)に占める割合

表 7 新たな余剰電力買取制度の費用対効果

	① △CO ₂ 削減量の経済価値 ^a			② △消費者余剰 ^e	③ △生産者余剰 ^f	④ △余剰電力の 買取費用 ^g	△社会余剰 (① + ② + ③ - ④)		
	1212円/トン ^b	3044円/トン ^c	10882円/トン ^d				1212円/トン ^b	3044円/トン ^c	10882円/トン ^d
(2a) - (1a)	15.9	39.9	142.6	317.1	124.3	507.4	-50.1	-26.1	76.6
(2b) - (1a)	108.6	272.9	975.5	2166.7	536.4	2141.7	670.0	834.2	1536.8
(2c) - (1a)	136.1	341.8	1222.0	2706.5	663.1	2580.7	925.0	1130.8	2011.0
(3a) - (1a)	1.3	3.1	11.3	25.0	9.8	69.0	-32.8	-31.0	-22.8
(3b) - (1a)	40.0	100.4	358.9	795.6	182.2	92.9	924.9	985.3	1243.8
(3c) - (1a)	54.8	137.6	491.9	1082.8	248.9	188.9	1197.6	1280.4	1634.7

数値はすべて新たな余剰電力買取制度がない場合(シナリオ¹)と差額, 単位: 100億円

a: 2010-2030年のCO₂削減効果をCO₂価格で経済価値に変換したもの

b: 2005-2007の自主参加型CO₂排出権取引の平均値

c: Tol (2005)における平均値 (\$93/t-C)

d: 「2050日本低炭素社会シナリオ: 温室効果ガス70%削減可能性検討」における上限値

e: 2010-2030年の消費者余剰の総計

f: 2010-2030年の生産者余剰の総計, 生産者余剰には太陽電池メーカー, 周辺機器, 施工業者の利潤を含む

g: 2010-2030年の余剰電力買取りに必要となる追加費用額

表 8 全量買取の場合の費用対効果

	① △CO ₂ 削減量の経済価値 ^a			② △消費者余剰 ^c	③ △生産者余剰 ^f	④ △余剰電力の 買取費用 ^g	△社会余剰 (① + ② + ③ - ④)		
	1212円/トン ^b	3044円/トン ^c	10882円/トン ^d				1212円/トン ^b	3044円/トン ^c	10882円/トン ^d
(2a) - (1a)	38.6	96.9	346.5	770.5	302.2	1980.8	-869.5	-811.1	-561.6
(2b) - (1a)	209.8	527.0	1884.0	4187.3	1063.3	8566.4	-3106.1	-2788.9	-1431.9
(2c) - (1a)	260.2	653.5	2336.2	5184.3	1297.5	10503.3	-3761.3	-3368.0	-1685.3
(3a) - (1a)	2.8	7.0	24.9	55.4	21.7	209.8	-129.9	-125.8	-107.8
(3b) - (1a)	42.4	106.6	381.1	844.9	199.1	300.9	785.6	849.8	1124.3
(3c) - (1a)	61.1	153.6	548.9	1209.6	283.3	663.5	890.5	982.9	1378.3

数値はすべて新たな余剰電力買取制度がない場合(シナリオ¹)と差額。単位:100億円

a: 2010-2030年のCO₂削減効果をCO₂価格で経済価値に変換したもの

b: 2005-2007の自主参加型CO₂排出権取引の平均値

c: ToI (2005)における平均値 (\$93/t-C)

d: 「2050日本低炭素社会シナリオ:温室効果ガス70%削減可能性検討」における上限値

e: 2010-2030年の消費者余剰の総計

f: 2010-2030年の生産者余剰の総計。生産者余剰には太陽電池メーカー、周辺機器、施工業者の利潤を含む

g: 2010-2030年の余剰電力買取りに必要となる追加費用額